

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-193823

(43)Date of publication of application : 21.07.1999

(51)Int.Cl.

F16C 33/62  
C22C 38/00  
C22C 38/18  
F16C 33/32

(21)Application number : 10-046391

(71)Applicant : NIPPON SEIKO KK

(22)Date of filing : 13.02.1998

(72)Inventor : KIUCHI AKIHIRO  
OKITA SHIGERU  
OHORI MANABU

(30)Priority

Priority number : 09200745  
09312916Priority date : 10.07.1997  
30.10.1997

Priority country : JP

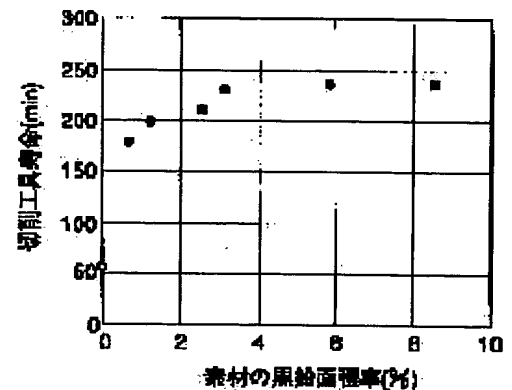
JP

## (54) ROLLING BEARING

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To remarkably improve machinability by graphitizing a raw material, and also to lengthen the life of a rolling bearing under clean lubrication and contamination mixed lubrication.

**SOLUTION:** The raw material of this rolling bearing, that carburization or carbonitriding treatment is applied thereto, is alloy including, by weight, 0.45-0.9% of carbon, 0.5-1.5% of silicon, 0.3-1.5% of manganese and less than 0.7% of chromium and consisting of the residual of iron and impurity elements. After graphitization treatment is applied to this raw material so as to deposit fine graphite, carburization is executed under high vacuum of less than 5 Torr using unsaturated hydrocarbon gas, thereby the area rate of graphite on the surface of the completed article is set to less than 5%. Large graphite particles of more than 5  $\mu$ m of mean particle diameter is less than 2% at the area rate in the whole graphite, fine graphite particles of less than 2  $\mu$ m of mean particle diameter is more than 50% at the area rate in the whole graphite, and a carbon amount and a nitrogen amount on the surface layer of the completed article are 0.9-1.4 wt.% and 0.01-0.3 wt.%, respectively.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

24.09.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-193823

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月21日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup> 識別記号

F 1 6 C 33/62

C 2 2 C 38/00

38/18

F 1 6 C 33/32

3 0 1

F I

F 1 6 C 33/62

C 2 2 C 38/00

38/18

F 1 6 C 33/32

3 0 1 H

審査請求 未請求 請求項の数 1 F D (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願平10-46391

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月13日

(31) 優先権主張番号 特願平9-200745

(32) 優先日 平 9 (1997) 7月10日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-312916

(32) 優先日 平 9 (1997) 10月30日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎 1丁目 6番 3号

(72) 発明者 木内 昭広

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目 5番 50号

日本精工株式会社内

(72) 発明者 沖田 滋

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目 5番 50号

日本精工株式会社内

(72) 発明者 大堀 學

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目 5番 50号

日本精工株式会社内

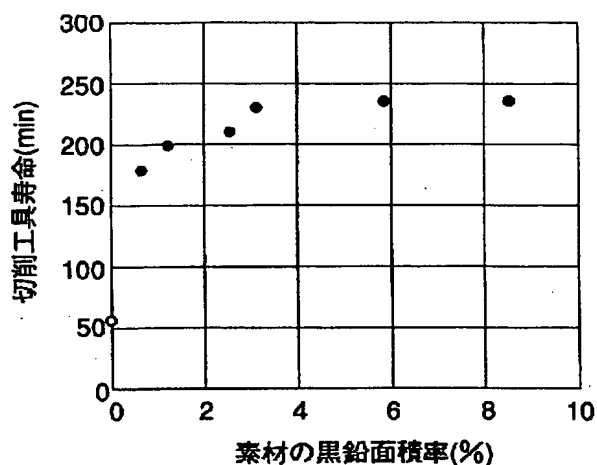
(74) 代理人 弁理士 渡部 敏彦

(54) 【発明の名称】 転がり軸受

(57) 【要約】

【課題】 素材を黒鉛化することで被削性を著しく向上させると共に、クリーン潤滑や異物混入潤滑下で長寿命である転がり軸受を提供する。

【解決手段】 浸炭または浸炭窒化処理を行った転がり軸受の素材は、炭素0.45~0.9重量%、シリコン0.5~1.5重量%、マンガン0.3~1.5重量%およびクロム0.7重量%以下を含有し、残りが鉄および不純物元素からなる合金である。この素材に黒鉛化処理を行って微細黒鉛を析出させておき、不飽和炭化水素ガスを使用した5 Torr以下の高真空中で浸炭を行うことで、完成品表面における黒鉛の面積率を5%以下とする。平均粒径5  $\mu$ m以上の大形黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で2%以下であり、平均粒径2  $\mu$ m以下の微細黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で50%以上であり、完成品表面層における炭素量および窒素量がそれぞれ0.9~1.4重量%、0.01~0.3重量%である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 内輪、外輪および転動体の少なくとも1つに浸炭または浸炭窒化処理を行った素材が適用される転がり軸受において、

前記素材は、炭素0.45~0.9重量%、シリコン0.5~1.5重量%、マンガン0.3~1.5重量%およびクロム0.7重量%以下を含有し、残りが鉄および不純物元素からなる合金であり、

前記素材に対して黒鉛化処理を行って微細黒鉛を析出させておき、

完成品表面における黒鉛の面積率を5%以下とし、平均粒径5 $\mu$ m以上の大形黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で2%以下であり、かつ平均粒径2 $\mu$ m以下の微細黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で50%以上であり、完成品表面層における炭素量および窒素量がそれぞれ0.9~1.4重量%および0.01~0.3重量%であることを特徴とする転がり軸受。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、並径サイズ以下で素材の加工性および転がり寿命に優れた転がり軸受に関する。

【0002】また、本発明は、比較的潤滑条件の厳しい自動車等のトランスミッションなどで動力伝達を補佐する、主に針状ころを用いる転がり軸受に関する。

## 【0003】

【従来の技術】一般に、軸受用材料として高炭素クロム軸受鋼(JIS鋼種SUJ2)が使用されているが、転がり軸受は高面圧下で繰り返しせん断応力を受けて使用されるので、そのせん断応力に耐える転がり疲労寿命を確保するために焼入・焼戻処理が施される。

【0004】軸受鋼は熱処理後に十分な硬さを得るため素材の炭素量やクロム量を多く含んでいるので、加工性が悪く通常は球状化焼鈍を行ってから加工されるが、軸受製造コストを下げるためにさらなる加工性の改善が要望されている。

【0005】この要望に対し、特開平8-3689号公報や特開平8-53735号公報などには、軸受鋼の素材の加工性を改善して製造コストを低く抑え、しかも転がり寿命を延ばすことができる技術が開示されている。

【0006】また、加工性、特に被削性に注目すると、快削鋼としてイオウS添加を基本とするものや炭化物を黒鉛化する黒鉛鋼などが知られているが、従来の黒鉛鋼では軸受の完成品表面に大きな黒鉛粒が残ったり、表面の硬さが不十分であったりして軸受に適用することは困難であると考えられていた。その一方で、特開平2-274837号公報や特開平8-20841号公報などには軸受材料に黒鉛鋼を適用する技術が開示されている。

【0007】一方、表面酸化がなく、効率の高い高温処理が可能であり、高品質かつ低コストな真空浸炭法とし

て、特開平2-22451号公報、特開平2-122062号公報、特開平6-172960号公報、特開平8-325701号公報などに開示された技術が知られている。

【0008】また、従来、自動車などの車両に用いられるトロイダル形無段変速機は、ハウジング内に入力ディスク(31)と出力ディスク(32)とが同軸上に対向して配置された構造を有する(図15参照)。入力ディスク(31)および出力ディスク(32)を備えたトロイダル変速部の軸心部分には、入力軸(33)が貫通されている。入力ディスク(31)および出力ディスク(32)の対向面はトロイダル面に形成されており、このトロイダル面で形成されるトロイダルキャビティ内には運動伝達用のパワーローラ軸受(16)、(17)が配設されている。また、入力軸(33)の一端にはローディングカム(14)が設けられており、このローディングカム(14)はカムローラ(15)を介して入力ディスク(31)に入力軸(33)の動力(回転力)を伝達する構造となっている。

【0009】このようなトロイダル形無段変速機として、例えば特開昭62-034138号公報や実開平2-49411号公報等が開示されたものが従来知られている。また、入力ディスク、出力ディスクおよびパワーローラ軸受として、AISI52100(JISSUJ2、高炭素クロム軸受鋼相当)を使用したものが従来知られている(NASA Technical note NASA ATN D-8362)。

【0010】上記構成を有する従来のトロイダル形無段変速機では、駆動した際、入力ディスクとパワーローラ軸受との間に、および出力ディスクとパワーローラ軸受との間に、例えば最大接触面圧が4Gpa程度にまで達する高い接触圧力が生じる。

【0011】このため、入力ディスクおよび出力ディスクのトラクション面およびパワーローラ軸受のトラクション面に剥離が生じやすいという問題があった。

【0012】また、パワーローラ軸受の軸受面も高圧面となり、剥離することがあった。このため、高面圧下での転動疲労寿命に優れた高い表面硬度と、深い硬化層深さを得ることができる製造方法が従来から要求されていた。

【0013】これらの要求に対し、入力ディスク、出力ディスクおよびパワーローラ軸受に使用される浸炭鋼および中、高炭素鋼に浸炭処理または浸炭窒化処理を施すことで、転動疲労寿命の向上を図ることが行われている(例えば、特開平7-71555号公報、特開平7-208568号公報)。

【0014】また、入力ディスク、出力ディスクおよびパワーローラ軸受のトラクション面に高接触面圧が加わることに起因する繰り返し曲げ応力を、入力ディスク、出力ディスクおよびパワーローラ軸受は受けることによ

り、疲労割れが生じやすいという問題があった。このため、転動疲労寿命に加え、曲げ疲労寿命の向上も要求されていた。この疲労割れは、主に熱処理後に鋼材の表面近傍に生じる粒界酸化に起因するものである。

【0015】高面圧下での曲げ疲労寿命を向上させるために、従来のトロイダル形無段変速機用転動部材に対し、浸炭および浸炭窒化処理によって生じた表面近傍の粒界酸化を焼き入れ（硬化熱処理）後、旋削（研削）を行って除去する方法、ショットピーニングを行い、表面に大きな圧縮応力を発生させ、粒界酸化の欠点を改善させる方法（例えば、特開平7-71555号公報、特開平7-286649号公報）、あるいは鋼材の化学成分を限定することで熱処理時の粒界酸化層の成長を抑制する方法（例えば、特開平7-71555号公報、特開平7-79337号公報）などの処置が施されていた。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の特開平8-3689号公報や特開平8-53735号公報などに開示された技術は、軸受鋼の加工性を改善した程度であり、特に被削性に関しては快削鋼（イオウS添加を基本とするものや黒鉛鋼など）と比べられる程のものではない。

【0017】また、快削鋼のうち、イオウS添加を基本とするものは多量のイオウSを多く含むので、非金属介在物（MnS）が多くなり清浄度が低下して十分な軸受寿命が得られない。

【0018】さらに、従来の特開平2-274837号公報に開示された黒鉛鋼を適用する技術では、軸受の内外輪1つ1つを熱処理する高周波焼入れを行っているが、並径以下の軸受の生産を考慮すると、コストと生産性が合致しない。また、軸受として使用するための寿命評価が不十分であった。

【0019】またさらに、特開平8-20841号公報においても軸受寿命の評価が不十分であった。つまり、転がり軸受の寿命にはクリーンな潤滑条件以外にも潤滑剤に異物が混入したりして潤滑が不十分な場合を考慮する必要がある。本発明者等の市場調査では油浴潤滑条件で使用されている並径以下の軸受の場合、そのほとんどが潤滑油中に含まれる異物の噛み込みや潤滑不良による軸受内での表面接触による表面起点タイプの疲労状況を示していた。

【0020】また、特にオートマチックトランスミッション内ではその構造上、軸受への潤滑経路が複雑であり、十分に潤滑剤が供給されない場合があり、転がり軸受は厳しい潤滑状態で使用される場合が多い。このため、軸受の転動接触部の油膜形成が不十分となり、転走面にピーリング損傷や滑り摩耗が発生し、早期剥離や異常振動等の不具合が発生してしまうことになる。

【0021】さらに、一般的にはクリーン潤滑であると考えられていたグリース潤滑条件でも、市場の使用状況

を詳しく調査すると表面起点タイプの疲労状況を示す場合が多い。したがって、単に高荷重で転動疲労寿命を評価するだけでなく、転がり軸受用の材料として必要な寿命評価を行わなければならない。

【0022】一方、特開平2-22451号公報や特開平2-122062号公報に示すような一般的なプロパン等の飽和炭化水素ガスを使用した真空浸炭や、特開平6-172960号公報に示すようなプロパン等の飽和炭化水素ガスと空気を混合する真空浸炭では、浸炭時の炭素ポテンシャルの調整が困難で煤が過剰に発生してしまう（村上弘二：「熱処理」第17巻5号1977. 10, P. 298参照）。

【0023】本発明者等の実際の操業でも、煤が多量に発生したり、浸炭濃度や浸炭深さのばらつきが多く、場合によっては浸炭むらが発生していた。

【0024】これに対し、特開平8-325701号公報に示すような不飽和炭化水素ガスの1つであるアセチレンを使用した高真空での真空浸炭では、煤の発生もなく、高い効率で高品質の処理が可能であり、穴の中も深く均一に浸炭することが可能である。しかし、この真空浸炭における材料との組合せによる効果や軸受機能への影響等の調査までは行っていなかった。

【0025】そこで、本発明は、素材を黒鉛化することによって被削性を著しく向上させると共に、高真空で短時間の浸炭を行うことで低コストでありながら、クリーン潤滑や異物混入潤滑下で、さらにはピーリング損傷や滑り摩耗に対して長寿命である転がり軸受を提供することを目的とする。

【0026】また一方、トロイダル形無段変速機に使用される転動部材において、前述した浸炭または浸炭窒化を行う場合、一般的にガス浸炭または浸炭窒化法が行われており、この方法によって入出力ディスクやパワーローラ軸受の表面に圧縮応力を生じさせることができるものの、これらは高面圧環境下で使用されるので、深い硬化層が必要となり、長時間の浸炭または浸炭窒化時間を要することとなる。

【0027】さらに、浸炭性または浸炭窒化性ガスに長時間さらされるため、これら入出力ディスク、パワーローラ軸受の表面に発生する割れの起点となり得る表面異常層（粒界酸化層）が深くなってしまうという問題があった。

【0028】また、ショットピーニングを行う方法では、ショットピーニングによって表面に大きな圧縮応力が発生するため、粒界酸化の改善は図れるものの、表層部、特に表面近傍にはマイクロクラックと称する微視亀裂が発生することがあり、このマイクロクラックに繰り返し応力が加わることで割れが発生するという新たな問題があった。このため、ショットピーニングの後、粒界酸化の除去の場合と同様に、表層部を研削してマイクロクラックを除去する工程が必要となり、ショットピーニ

ング工程を含めた全工程のコストアップとなってしまう。

【0029】本発明は、トロイダル形無段変速機の入力ディスク、出力ディスクおよびパワーローラ軸受に剥離、破損が発生することを防止すると共に、疲労割れを防止し、高寿命で高い信頼性を得ることができる転動部材を提供することを他の目的とする。

【0030】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明者等は表面の黒鉛の粒径や面積率、表面層の炭素および窒素の含有量に基づいて各種の寿命評価を行い、高温かつ短時間の真空浸炭により黒鉛の粒径や面積率を自在に調整することで本発明を成すに至った。

【0031】かかる本発明の請求項1に記載の転がり軸受は、内輪、外輪および転動体の少なくとも1つに浸炭または浸炭窒化処理を行った素材が適用される転がり軸受において、前記素材は、炭素0.45～0.9重量%、シリコン0.5～1.5重量%、マンガン0.3～1.5重量%およびクロム0.7重量%以下を含有し、残りが鉄および不純物元素からなる合金であり、前記素材に対して黒鉛化処理を行って微細黒鉛を析出させておき、完成品表面における黒鉛の面積率を5%以下とし、平均粒径5 $\mu$ m以上の大形黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で2%以下であり、かつ平均粒径2 $\mu$ m以下の微細黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で50%以上であり、完成品表面層における炭素量および窒素量がそれぞれ0.9～1.4重量%および0.01～0.3重量%であることを特徴とする。

【0032】また、前記完成品表面における黒鉛の面積率は3%以下であることがより好ましく、表面の硬さがHV700未満になることを防止する。

【0033】さらに、前記平均粒径2 $\mu$ m以下の微細黒鉛粒は全黒鉛に対して面積率で70%以上であることがより好ましく、ピーリングタイプの寿命の低下を防ぐ。

【0034】また、完成品表面層における窒素量は0.05～0.2重量%であることがより好ましく、耐摩耗性を向上し、研削性の低下を防止する。

【0035】またさらに、不飽和炭化水素ガスの1つであるアセチレンを使用して、5 Torr 以下の高真空中で真空浸炭を行うことが好ましく、煤の発生が少なく、安定した品質が得られる。

【0036】さらに、1 Torr 以下の高真空中で浸炭を行うことが好ましく、高真空中である方が浸炭が安定する傾向にある。

【0037】また、浸炭温度は950℃を越えることが好ましく、黒鉛の微細化を促進すると共にその面積を半分以上にすることができる。

【0038】さらに、素材の黒鉛面積率を10%以上とすることが好ましく、冷間鍛造（加工）性を良好にすることができる。

【0039】また、完成品の黒鉛面積率が2%以上4%以下であることが好ましく、オートマチックトランスミッション内で使用されている等、潤滑条件の厳しい場合に微細な残留黒鉛粒が油溜まりとなり、潤滑条件が厳しい中で潤滑を助ける効果を有する。

【0040】また一方、本発明の転動部材は、入力軸に設けられた入力ディスクと、出力軸に設けられた出力ディスクと、前記入力ディスクおよび前記出力ディスクと係合して前記入力軸の動力を前記出力軸に伝達するパワーローラ軸受とを有するトロイダル形無段変速機において、前記入力ディスク、前記出力ディスクおよび前記パワーローラ軸受の少なくとも1つに使用される転動部材は、炭素0.15～0.65重量%を含む鋼合金を素材とし、真空浸炭または真空浸炭窒化処理を行った後、研削仕上げが施されたことを特徴とする。

【0041】また、トロイダル形無段変速機では、パワーローラ軸受の構成要素である内輪および外輪、入力ディスク、出力ディスクの転走面の表層部にそれぞれ20～150 Kg f/mm<sup>2</sup>の圧縮残留応力を発生させることが好ましい。

【0042】さらに、真空浸炭処理では、900℃～1050℃の温度領域で5 Torr 以下の炉内圧力にアセチレンを添加して浸炭を行うことが好ましい。

【0043】また、真空浸炭窒化処理では、真空浸炭後にアンモニア等の窒化性ガスを添加して浸炭窒化を行うことが好ましい。

【0044】このようなトロイダル形無段変速機では、熱処理方法として従来行ってきたガス浸炭およびガス浸炭窒化を真空浸炭および真空浸炭窒化とすることで、表面異常層（粒界酸化層）を生じさせないことから、パワーローラ軸受、入力ディスクおよび出力ディスクの剥離、破損の発生が防止されると共に、疲労割れが防止され、低コストで信頼性が高くなる。

【0045】これは以下に示す理由による。

【0046】従来、行われてきたガス浸炭法およびガス浸炭窒化法では、浸炭または浸炭窒化、および焼入れ硬化処理時に使用される吸熱型雰囲気ガス（RXガス）には微量のCO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Oが含まれている。このため、鋼材表面層では、これらと鋼中のSiやMn、Crとが反応して表面異常層（粒界酸化層）が生じることが従来から知られている。

【0047】このため、入出力ディスクやパワーローラ軸受ではこれらを起点とする剥離や、応力集中により耐疲労割れ寿命が低下してしまうので、粒界酸化層を除去するための研削工程が必要となる。

【0048】図15の符号「ア」、「イ」の部分はトロイダル形無段変速機を駆動した際に最も繰り返し応力が発生しやすい部分である。また、パワーローラ軸受では図15の符号「ウ」の部分がエッジ部であり、同様に応力集中を受けやすい部分である。これらの部分は軌道面

ではない部分ではあるが、応力集中を避けるために、全て研削加工が必要であった。

【0049】また、これらの入出力ディスクやパワーローラ軸受にショットピーニングを行うと、鋼材の表面近傍が塑性変形して残留圧縮応力が生成することにより、繰り返し曲げ応力等に伴う高い引っ張り応力に抗するので、耐疲労割れ特性を向上できる。

【0050】しかしながら、この塑性変形部は局部疲労を受けているため、その表層部に5~10 $\mu$ mのマイクロクラックと称する微視亀裂が発生することもあり、このマイクロクラックの周りに繰り返し応力が付与されて割れが進展することもある。また、ショットピーニングのままで、鋼材表面に凹凸を生じさせ、この部分の応力集中により、ここを起点として割れが生じる場合もある。このため、耐疲労寿命向上のため、別途研削を行う必要があった。

【0051】しかしながら、本発明では、粒界酸化は生じないことから、追加工程としてショットピーニング加工を行う必要がなく、軌道面以外の不必要な研削を省略することができ、コストダウンを図ることができる。

【0052】さらに、入出力ディスクやパワーローラ軸受に本発明の転動部材を適用することで、表面層部(ケース)と芯部(コア)との炭素濃度および窒素濃度に差異を持たせることができ、ケースとコアとのマルテンサイト変態点をずらし、焼入れ、焼戻し後に入出力ディスクやパワーローラ軸受の表面層に残留圧縮応力を生じさせ、表面の接線方向に生じる引っ張り応力によるマイクロ(微小)クラックの発生を抑制することで疲労寿命特性を向上させることができる。

【0053】さらに、入出力ディスクやパワーローラ軸受の転走面の表層部に20Kgf/mm<sup>2</sup>以上の圧縮残留応力を発生させることで、より入出力ディスクやパワーローラ軸受の転がり寿命が向上し、一層長寿命なトロイダル形無段変速機が得られる。

【0054】また、入出力ディスクやパワーローラ軸受材料として、炭素濃度が0.15重量%未満では、入出力ディスクやパワーローラ軸受にかかる高面圧に耐えうる硬化層深さを得るには、長時間の浸炭時間を要することとなり、生産性が悪化する。一方、0.65重量%を越えると、芯部の硬さが高くなり、大きく靱性が低下してしまう。このように、入出力ディスクやパワーローラ軸受の材料としては、20Kgf/mm<sup>2</sup>以上の残留圧縮応力を得るために、浸炭鋼あるいは中炭素鋼からなり、炭素濃度Cは0.15重量%以上0.65重量%以下であることが好ましい。

【0055】真空浸炭法は減圧下の加熱室にワークを入れ、その炉内に浸炭性のガスを直接添加して浸炭を行う方法であるが、浸炭性ガスとしてプロパンやブタンが従来から用いられていたが、浸炭に寄与しないガスが煤となって堆積し、治具寿命を低下させたり、ワークに付着

した場合、浸炭むらが発生して問題があった。

【0056】このため、本発明では、これらの問題を解決させた900℃~1050℃の温度領域で5 Torr以下の炉内圧力にアセチレンを添加して浸炭を行う方法が好ましい。5 Torr以下の炉内圧力下では、アセチレンは浸炭性に寄与するだけのワークへの堆積となり、その他浸炭性に寄与しないガスは炉外に排出されることとなり、浸炭むらが発生せず、治具寿命の向上についても効果的な方法である。

【0057】また、本発明では、900℃~1050℃と高温での処理が可能であるので、ガス浸炭と比較して炭素の拡散層が深くなり、短時間での処理が可能である。さらに、真空浸炭方法では真空浸炭後にアンモニア等の窒化性ガスを添加して浸炭窒化を行うことが好ましい。

【0058】

【発明の実施の形態】本発明の転がり軸受の実施の形態について説明する。始めに、黒鉛鋼自体はかなり以前から公知であるが、近年の黒鉛化処理技術の進歩により黒鉛化処理時間の短縮や黒鉛粒の微細化が可能となってきた(太田裕樹等(川崎製鐵)「材料とプロセス」Vol. 9, P406, 1996、岩本隆等(川崎製鐵)「材料とプロセス」Vol. 9, P407, 1996)。

【0059】一方、本発明者等はこれらの黒鉛鋼を転がり軸受用の材料に用いて種々の熱処理を行った結果、つぎのような知見を得た。

【0060】(1)素地の炭化物をほとんど黒鉛化した黒鉛鋼を通常の並径軸受に適用するずぶ焼入処理(820~850℃焼入)を行ったが、平均粒径で5 $\mu$ m以上の大きな黒鉛粒は消失せず黒鉛のまま素地に残ってしまう。つまり、黒鉛化した炭素Cが焼入処理だけでは十分に素地に溶け込まず、軸受として必要な硬さが得られない。

【0061】(2)素地の炭化物の一部を短時間で微細に黒鉛化した場合でも、平均粒径で5 $\mu$ m以上の大きな黒鉛粒では、通常の焼入処理で炭素Cが十分に素地に溶け込まず、軸受として必要な硬さが得られにくい。さらに、焼入温度を900℃まで上げたが、大きな黒鉛粒の溶込量に大差はなかった。

【0062】(3)浸炭または浸炭窒化処理を行った場合、素地に炭素Cや窒素Nを侵入させることができ、焼入後に十分な硬さが得られると共に、通常の浸炭の場合、処理温度が930~960℃と高いので、黒鉛粒が小さくなる傾向を示した。

【0063】このように、黒鉛鋼に対して従来の軸受鋼の焼入処理を行った場合、軸受としての十分な硬さが得られにくい。また、黒鉛化により減少する炭素Cの量を見越して素材の炭素Cの含有量を上げると、加工性が低下したり、製鋼時に巨大炭化物が出現するおそれがある。

り、焼入後の心部靱性低下も懸念される。

【0064】また、焼入温度を高くして黒鉛の溶込み量を上げようとしても、その効果は小さく、浸炭処理温度まで焼入温度を上げると、オーステナイト粒が粗大化し、焼入後の表面組織も粗大化してしまうので、寿命や強度が低下してしまう。つまり、黒鉛鋼に対しては通常、軸受鋼で行っている焼入処理では軸受に十分な組織や硬さが得られにくく、軸受として使用するためには浸炭または浸炭窒化処理が不可欠である。

【0065】さらに、黒鉛粒を微細に調整するためには、長時間の処理や浸炭処理温度を高くしなければならない。しかし、長い処理時間は処理コストの増加を招き、また条件にもよるが、表面に初期セメントライトが析出しやすく、軸受寿命を低下させる。また、浸炭処理温度を単純に高くすると、粒界酸化の発生が著しく、場合によっては酸化膜が部分的に発生する。粒界酸化や酸化膜は浸炭時に表面の炭素C濃度%を低下させたり、炭素Cの拡散を阻害するので、浸炭深さが減少する傾向となる。また、通常の高真空浸炭では1000℃以上になると、熱損失によるヒータ容量の増大など設備の耐久性を含め、ほとんど実用化することができない。

【0066】そこで、高温で高真空な浸炭を黒鉛鋼に対して施すことにより、黒鉛粒を微細に調整すると同時に、短時間で必要な浸炭深さが得られるようにする。

【0067】つぎに、素材の黒鉛量と被削性について調査を行った結果を示す。図1は素材の黒鉛面積率と切削工具寿命との関係を示す特性図である。少しでも黒鉛が析出すれば、切削性が改善されることがわかった。つまり、素材段階で若干の黒鉛析出があれば切削性は大幅に改善できるのである。

【0068】一方、市場での並径以下の軸受の使用状況を考慮して表面起点タイプの損傷を再現するために、黒鉛鋼に浸炭焼入処理したものの異物混入潤滑下で寿命評価を行った結果を示す。図2は全黒鉛に対する5 $\mu$ m以上の黒鉛の面積率と寿命との関係を示す特性図である。

【0069】軸受の完成品表面に5 $\mu$ m以上の大形黒鉛が多くなると、寿命が低下することが分かった。短寿命で破損した試験片を調査すると、5 $\mu$ m以上の黒鉛粒からクラックが発生し、クラック同士がつながって大きなクラックとなり、これを起点としてはく離が発生していた。クリーン潤滑下の条件であっても、黒鉛粒が大きいと黒鉛粒から発生したクラックを起点に短寿命ではく離が発生することを確認した。

【0070】このように、黒鉛鋼を軸受用鋼として使用するために種々の実験を行った結果、並径以下の軸受で行っている比較的短時間の熱処理では黒鉛鋼の黒鉛粒を完全に溶け込ませることは不可能であることが分かった。

【0071】したがって、ずぶ焼入処理では軸受としての適用は困難であり、浸炭または浸炭窒化処理による炭

素C、窒素Nの付加が不可欠である。また、完成品表面に大きな黒鉛粒を残すと、軸受としての適用は困難であり、黒鉛鋼を軸受用鋼として使用するためには、完成品表面の黒鉛分布を必ず管理しなくてはならない。そして、黒鉛分布を精度良く、また短時間で効率よく管理するためには、高温で高真空な浸炭を行うことが好ましい。

【0072】つぎに、軸受材料の合金成分の作用および成分範囲の限定理由について説明する。

【0073】[炭素C：含有量]炭素Cは黒鉛鋼として不可欠であり、素地をマルテンサイト化して軸受としての硬さを得るための重要な元素である。浸炭や浸炭窒化処理を行うことで、完成品表面層に適量の炭素Cや窒素Nを得ることができるが、浸炭や浸炭窒化時間が増加すると製造コストが高くなるので、短時間の浸炭や浸炭窒化で寿命に十分な硬さと硬化層深さが得られるように素材の炭素量の下限を0.45重量%とした。

【0074】しかし、素材の炭素Cが0.9重量%以上になると、加工性が低下したり、製鋼時に巨大炭化物や偏析をなくすソーキングが必要となる。このような理由から素材の炭素量は0.45重量%～0.9重量%とする。ただし、特に寿命と熱処理コストを厳密に考慮する場合、短時間の熱処理でも十分な長寿命を得るために素材の炭素量は0.7重量%以上であることが望ましい。

【0075】[シリコンSi：含有量]素材の製鋼時に脱酸剤として作用し、焼入性を向上させるとともに基地マルテンサイトを強化し、軸受の寿命を延長するために有効な元素である。また、鋼中のセメントライトを不安定にして黒鉛を促進させるために不可欠であり、その効果を十分に出すためには最低0.5重量%は必要である。

【0076】しかし、Si含有量が多くなると浸炭や浸炭窒化処理の拡散層深さを低下させる傾向があり、通常の鋼では0.5～0.7%を越えるとその傾向が顕著になってくる。しかし、黒鉛化によってマトリックスのシリコンSiが低減するので、シリコンSiの上限を1.5重量%以下とした。このような理由から素材のシリコンSi量は0.5重量%～1.5重量%とする。

【0077】ただし、浸炭窒化処理を行う場合、シリコンSiは窒素の拡散を阻害し、拡散層深さを低下させる上に熱処理後の表面に窒素が濃化してしまい、結果としてその後の研削加工を著しく阻害する。黒鉛化によってマトリックスのシリコンSiは低減するが、浸炭窒化処理を行う場合、シリコンSi含有量は1.0重量%以下が望ましい。

【0078】[マンガンMn：含有量]一般に焼入性を向上させるためにはマンガンMnあるいはクロムCrを添加するが、クロムCrは炭化物生成元素であるので、添加したクロムCrすべてが基地の焼入性向上に機能せず、またコストもマンガンMnの方が安い。熱処理で黒鉛が全て溶け込まず焼入性が低下する場合があり、また

異物混入潤滑下での転がり寿命に有効な残留オーステナイト生成元素でもあるので、マンガンMnの含有量を最低0.3重量%とする。

【0079】しかし、マンガンMnを1.5重量%越えて添加しても、その効果が飽和に達し、添加効果が上がらないばかりか、マンガンMnはセメントを安定させる元素でもあり、黒鉛化処理時間が極端に長くなってしまい、微量の黒鉛を析出させるためにも素材がコストアップしてしまう。この理由から素材のマンガンMn量は0.3重量%~1.5重量%とする。ただし、素材の黒鉛化をより短時間で行うために、マンガンMn量は1.0重量%以下であることが望ましい。

【0080】[クロムCr:含有量]クロムCrは焼入性向上、焼戻軟化抵抗性向上など基地を強化する元素であり、軸受用の材料としては不可欠であるが、クロムCrは特にセメントを安定させる元素であり、添加量によっては極端に黒鉛が析出しにくい。また、素材の炭素量が多い場合、クロムCr量が0.7重量%を越えると、製鋼過程で巨大炭化物や偏析の生成を改良するためにソーキングが必要となり、クロムCrの添加コストと共に素材コストが上昇してしまう。

【0081】したがって、素材のクロムCr量は0.7重量%以下とする。黒鉛化処理時間の短縮や微量の黒鉛を析出させるために、特にクロムCr量は0.3重量%以下であることが望ましい。

【0082】[残部Feおよび不可避不純物元素]黒鉛の析出は黒鉛発生核の数によって処理時間や微細化が決まってくる。核の数が多いほど黒鉛が微細化し、処理時間も短縮できる。黒鉛発生核としてはボロン核BNやアルミニウム核AlNなどがあり、ボロンBやアルミニウムAlの微量添加が有効であり、その他にもランタンLaやセリウムCeの添加も有効である。

【0083】通常の軸受用鋼では熱処理後の結晶粒微細化のために、アルミニウムAlの微量添加は必然的に行われているので、黒鉛鋼においても軸受として使用する場合、結晶粒調整のために0.05重量%以下のアルミニウムAlを添加する。さらなる黒鉛粒の微細化や黒鉛処理時間の短縮を考えると、不純物元素としてボロンBを0.002重量%以下、ランタンLaを0.05重量%以下、セリウムCeを0.05重量%以下で少なくとも1種以上添加することが望ましい。

【0084】[完成品表面の黒鉛の面積率を5%以下]黒鉛は硬さが低いので、微細に析出させても、硬化熱処理後に残留する黒鉛により硬さが低下してしまう。図3は完成品表面の黒鉛の面積率と硬さとの関係を示す特性図である。硬さはビッカースで測定し、測定荷重は1kgで行う。黒鉛面積率が高くなると、図4に示すように黒鉛粒の上にビッカース圧痕が重なり硬さが低下してしまう。図4は黒鉛粒の上にビッカース圧痕が重なった様子を示す図である。さらに、黒鉛面積率が高くなると、

素地に固溶する炭素Cが低下してしまい硬さが低下する。

【0085】硬さが低下するとクリーンな潤滑条件でも表面起点タイプの異物混入潤滑下でも寿命は低下する。軸受として安定した寿命を得るためには、最低でも硬さはHV700以上必要であり、軸受として十分な硬さを得るためには黒鉛面積率を5%以下にしなければならない。さらに長寿命を得るためには黒鉛面積率を3%以下、さらに好ましくは1%以下にすることが望ましい。

【0086】[平均粒径5 $\mu$ m以上の黒鉛が全黒鉛に対して面積率で2%以下]並径軸受を想定した市場での表面起点タイプの損傷状態を再現するべく、異物混入潤滑下での寿命と平均粒径5 $\mu$ m以上の黒鉛粒の面積率との関係を調べたところ、軸受完成品表面の5 $\mu$ m以上の大形黒鉛の全黒鉛に対する面積率が2%を越えると寿命が極端に低下することが確認できた。その結果を図2に示す。

【0087】短寿命で破損した試験片を調査すると、5 $\mu$ m以上の大きな黒鉛粒を起点としてはく離が発生していることから平均粒径5 $\mu$ m以上の黒鉛が全黒鉛に対して面積率で2%以下とする。

【0088】[平均粒径2 $\mu$ m以下の黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で50%以上]黒鉛粒は浸炭や浸炭窒化処理を施しても簡単には消失せず、熱処理によって多少小さくなった黒鉛が完成品表面に残ってしまう。したがって、残留黒鉛粒が大きいとクリーン潤滑寿命や異物潤滑寿命が低下してしまう。しかし、この残留黒鉛粒を平均粒径2 $\mu$ m以下に制御することで逆に潤滑油が保持され易くなる。

【0089】市場での使用条件で潤滑油の供給が不足しやすい箇所やグリース潤滑でのグリース劣化による潤滑不足等が起こった場合に転がり軸受の接触部の油膜形成が不十分となり、転動面にピーリング損傷や滑り摩耗などの表面損傷が発生する。

【0090】そこで、黒鉛鋼の残留黒鉛粒を小さく制御すると、微少なピットと同様の効果で潤滑剤が保持され易くなる。

【0091】市場で発生する表面損傷を再現するべく、微小異物混入潤滑下での寿命と平均粒径2 $\mu$ m以下の黒鉛粒の面積率との関係を調べた結果を示す特性図を図5に示す。残留黒鉛粒が大きくなると、その効果が低減してピーリングタイプの寿命が低下してしまう。

【0092】このように、表面損傷に対して長寿命効果を出すためには、完成品表面に平均粒径2 $\mu$ m以下の黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で50%以上にする必要がある。さらに、十分な長寿命効果を得るためには70%以上が望ましい。

【0093】[5 Torr以下の高真空中浸炭処理]黒鉛粒を微細化するためには、浸炭処理温度を高くすることが有効である。しかし、ガス浸炭で処理温度を単純に



高くすると、前述したように設備的な問題と粒界酸化や酸化膜による浸炭深さの低減の問題がある。図6は同一条件での通常のガス浸炭と真空浸炭との浸炭深さ比を浸炭温度に対して示す特性図である。浸炭温度が高くなる程、浸炭深さ比が大きくなり、1050℃以上ではガス浸炭と比べて1.5倍以上の浸炭深さが真空浸炭において得られる。

【0094】しかし、一般的なプロパン等を使用する真空浸炭では、前述したように煤が多量に発生したり、浸炭濃度や浸炭深さのばらつきが多く、場合によっては浸炭むらが発生してしまう。

【0095】そこで、本実施形態では、メタン、プロパン等の飽和炭化水素ガスではなく、不飽和炭化水素ガスの1つであるアセチレンを使用し、5 Torr以下の高真空中で煤の発生が少なく、安定した品質が得られる真空浸炭を行うことにする。

【0096】アセチレンはメタンやプロパン等の飽和炭化水素ガスに比べて不安定であり、分解速度も早いので、200~400 Torr程度の真空度で行う一般的な真空浸炭条件では、大量の煤が発生してしまうが、真空度を上げて5 Torr以下にすると、煤の発生が減少し良好な処理が可能となる。

【0097】つまり、高真空条件での、メタンやプロパン等の飽和炭化水素ガスによる浸炭では製品表面での煤の発生は減少するものの、ガスの分解が不十分となり、浸炭する能力が極端に低下してしまうのに対し、高真空条件での不飽和炭化水素ガスの1つであるアセチレンによる浸炭では煤の発生が減少しても、製品表面でのガスの分解は確実に行われ、安定した浸炭層が得られる。図7はアセチレン浸炭における真空度と浸炭深さ比との関係を示す特性図である。

【0098】同図では、0.5 Torrでの浸炭深さを値1とした場合の浸炭深さ比が示されているが、真空度が5 Torrを越えて低くなると、煤の発生が激しくほとんど浸炭されず、場合によっては浸炭むらも発生する。

【0099】一方、真空度を5 Torr以下にすると、煤の発生が減少して良好な浸炭が可能となる。さらに、1 Torr以下の高真空中である場合、浸炭が安定する傾向にあり、1 Torr以下で真空浸炭を行うことが望ましい。

【0100】図8は浸炭温度と2  $\mu$ m以下の黒鉛面積率との関係を示す特性図である。高温浸炭による黒鉛粒の微細化に関し、浸炭温度以外の同一条件で浸炭処理を行いたい場合、全黒鉛面積率に対する2  $\mu$ m以下の黒鉛面積率では、通常の浸炭温度である950℃を越えると、黒鉛の微細化が促進されている。したがって、浸炭温度は950℃を越えることが望ましい。

【0101】このように、黒鉛鋼に5 Torr以下の高真空、高温の浸炭を行うことにより、黒鉛粒の微細化を

調整すると同時に、短時間で必要な浸炭深さが得られる。

【0102】ここで、黒鉛鋼に高真空浸炭を施すことにより、さらに黒鉛鋼の利用範囲が拡大される。図9は浸炭温度と黒鉛残留率との関係を示す図である。950℃を越えると、素材の黒鉛は微細化と共に半分以下の面積になる。

【0103】図10は素材の黒鉛面積率に対する冷間加工性を示す特性図である。冷間加工性を示す値として、後述するように穴開け加工を行う金型が破損するまでの加工個数( $\times 10^3$ )が示されている。黒鉛を析出させると、硬さの低下と黒鉛の潤滑作用により冷間加工が良好となる。素材の黒鉛面積率が5%以上になると、その効果が高くなり、10%以上で最良の冷間加工性を示した。

【0104】つまり、素材の段階で黒鉛を多量に析出させると、高い炭素含有鋼であっても、切削性だけでなく冷間加工にも優れた素材となるが、通常の浸炭温度では黒鉛粒を微細化できず、黒鉛面積率も高くなってしまふ。

【0105】そこで、高真空中で高温浸炭を施すことにより黒鉛粒の微細化が可能となり、優れた加工性により低コストで高機能な軸受を提供することができる。

【0106】[完成品表面の炭素C: 0.9重量%~1.4重量%]炭素は軸受に必要な硬さと残留オーステナイトを得るために必要な元素であり、完全にクリーンな潤滑条件であれば、炭素Cが0.8重量%前後でもある程度の寿命が得られるが、市場を想定した使用条件で長寿命を得るためには最低でも0.9重量%以上は必要である。

【0107】しかし、炭素Cが1.4重量%を越えると、研削加工性および寿命や強度を劣化させる $M_3C$ などの巨大炭化物が多量に析出するおそれがある。このため、完成品表面の炭素Cは0.9重量%~1.4重量%とする。

【0108】[完成品表面の窒素N: 0.3重量%以下]窒素は残留オーステナイトの生成や焼戻抵抗性を向上させるので、軸受の長寿命化や耐熱性や耐摩耗性を向上させる元素である。しかし、その量が軸受完成表面で0.3重量%を越えると、熱処理完了後の表面ではさらに窒素量が高くなる傾向にあり、研削加工性が著しく低下してしまう。このため、完成品表面の窒素は0.3重量%以下とする。

【0109】ここで、軸受用鋼には浸炭または浸炭窒化処理を施すが、浸炭処理でも鋼材には摩耗特性を向上させる程ではないが、若干の窒素を固溶する。その量は合成成分にもよるが0.02重量%前後であり、最低でも0.01重量%以上固溶する。したがって、完成品表面の窒素Nは0.01重量%~0.3重量%とする。

【0110】ただし、浸炭窒化処理では、浸炭処理に比

べて窒素の固溶による組織強化、炭窒化物の微細析出による寿命特性向上および耐熱性や耐摩耗性の向上が得られる。その効果を得るために、窒素は最低0.05重量%以上必要である。また、窒素はその含有量が0.2重量%を越えると、 $M_4N$ 等の窒化物が析出し、耐摩耗性が向上する反面、研削性は低下していく傾向にある。つまり、浸炭窒化処理を行う場合、完成表面の窒素量は0.05重量%~0.2重量%とすることが望ましい。

【0111】以上示した軸受材料の合金成分の作用および成分範囲の限定理由により、本実施形態における転がり軸受は、内輪、外輪および転動体の少なくとも1つに浸炭または浸炭窒化処理を行った素材が適用される転がり軸受において、素材は、炭素0.45~0.9重量%、シリコン0.5~1.5重量%、マンガン0.3~1.5重量%およびクロム0.7重量%以下を含有し、残りが鉄および不純物元素からなる合金であり、この素材に対して黒鉛化処理を行って微細黒鉛を析出させておき、不飽和炭化水素ガスを使用した5 Torr以下の高真空中で浸炭を行うことで、完成品表面における黒鉛の面積率を5%以下とし、平均粒径5  $\mu m$ 以上の大形黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で2%以下であり、かつ平均粒径2  $\mu m$ 以下の微細黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で50%以上であり、完成品表面層における炭素量および窒

素量がそれぞれ0.9~1.4重量%、0.01~0.3重量%であることを特徴とする。

【0112】

【実施例】転がり軸受の実施例について説明する。本実施例の転がり軸受は黒鉛粒の平均粒径や面積率に特徴を有するものであり、黒鉛粒の面積率を直接測定するために、素材の断面および軸受の完成品表面の組織を電子顕微鏡で撮影し、画像解析装置によってその電子顕微鏡画像の素地から黒鉛粒だけを取り出す。そして、その形状、面積、個数などを測定して各黒鉛粒をその面積から円形に換算した平均粒径や面積率を算出する。被検面積は各鋼種毎に1視野を0.1 mm<sup>2</sup>（電子顕微鏡200倍）として50視野調査した結果である。

【0113】ここで、電子顕微鏡は日本電子社製JSM-T220Aであり、画像解析装置はカールツァイス社製IBAS2000である。

【0114】[ソーキング処理有無] 試料素材のビレット断面をマクロおよびミクロ組織で調査し、寿命に有害な巨大炭化物や濃厚な綫状偏析の有無を確認した。材料成分およびソーキング処理の有無を調査した結果を表1に示す。

【0115】

【表1】

	鋼種	C (Wt%)	Si (Wt%)	Mn (Wt%)	Cr (Wt%)	ソーキング 処理
実 施 例	K1	0.52	0.61	0.31	0.08	不要
	K2	0.56	0.67	0.41	0.12	不要
	K3	0.77	0.66	0.39	0.13	不要
	K4	0.86	0.68	0.36	0.14	不要
	K5	0.63	0.65	0.42	0.12	不要
	K6	0.86	0.67	0.35	0.10	不要
	K7	0.72	0.55	0.42	0.12	不要
	K8	0.73	0.95	0.43	0.15	不要
	K9	0.76	1.41	0.42	0.13	不要
	K10	0.78	0.61	0.41	0.11	不要
	K11	0.75	0.85	0.42	0.12	不要
	K12	0.74	0.67	0.34	0.14	不要
	K13	0.72	0.68	0.72	0.11	不要
	K14	0.71	0.66	1.43	0.12	不要
	K15	0.52	0.61	0.31	0.10	不要
	K16	0.75	0.67	0.42	0.11	不要
	K17	0.73	0.65	0.40	0.03	不要
	K18	0.72	0.65	0.43	0.24	不要
	K19	0.71	0.67	0.42	0.64	不要
	K20	0.73	0.68	0.43	0.12	不要
	K21	0.74	0.66	0.39	0.10	不要
比 較 例	K22	0.43	0.67	0.41	0.12	不要
	K23	0.98	0.67	0.44	0.14	必要
	K24	0.73	0.42	0.43	0.12	不要
	K25	0.76	1.62	0.41	0.11	不要
	K26	0.75	0.65	0.21	0.11	不要
	K27	0.72	0.67	1.67	0.13	不要
	K28	0.78	0.65	0.39	0.79	必要
例	SUJ2	1.01	0.28	0.44	1.45	必要

本実施例は炭素C重量%とクロムCr重量%を適量に調整することでソーキング処理を必要としない。比較例の鋼種K23、K28およびSUJ2は炭素C重量%やクロムCr重量%が高いので、ソーキング処理が必要であると判断した。

【0116】〔被削性試験〕

切削工具寿命：

切削機械：高速旋盤

工具：P10 (JIS B 4053)

切り込み速度：200～250m/min

送り量：0.2～0.3mm/rev

切り込み深さ：1.0～1.5mm

JIS B 4011のバイト切削試験法にしたがって、上記条件で各試料を切削し、バイトの逃げ面摩耗量が0.2mmに達するまでを工具寿命とした。

【0117】表2および図1に素材の黒鉛量と被削性の関係を調査した結果を示す。同一鋼種K1を用いて黒鉛化処理条件を変えることにより、素材の黒鉛面積率を変化させた。素材の状態ですこしでも黒鉛が析出すれば、切削性が改善される。

【0118】

【表2】

	No	鋼種	素材の黒鉛 面積率(%)	工具寿命 (min)
比較例	1	K1	0	55
実 施 例	2	K1	0.6	180
	3	K1	2.7	198
	4	K1	3.8	210
	5	K1	4.5	230
	6	K1	5.9	235
	7	K1	7.6	235
	8	K1	9.8	246

〔黒鉛化処理〕軸受は素材の段階で黒鉛化処理を行い、素材に黒鉛粒を析出させることで被削性を飛躍的に向上させる。図11は黒鉛化処理条件を示す図である。黒鉛化処理条件は素材をA1変態点以下の温度で長時間保持するものである。本実施例では680～710℃の範囲で処理時間を変えることで黒鉛面積率や黒鉛粒の調整を行った。

【0119】〔熱処理条件〕本実施例における熱処理条件を以下に示す。

【0120】熱処理条件：A

温度930℃以上960℃以下で0.5～1時間、吸熱形ガス雰囲気中で導入する吸熱形ガス流量に対してエンリ

ッチガス0.3%~0.7%、Cp(カーボンポテンシャル)値=0.9~1.2%の条件で浸炭を行い、処理温度を840℃以上900℃以下まで下げてから焼入を行う。

【0121】熱処理条件:B

温度920℃以上950℃以下で0.5~1時間の短時間で吸熱形ガス雰囲気で導入する吸熱形ガス流量に対してエンリッチガス0.3%~0.7%、アンモニアガス3~10%の条件で浸炭窒化を行い、処理温度を840℃以上900℃以下まで下げてから焼入を行う。

【0122】熱処理条件:C

温度840℃以上900℃未満で0.5~1時間の短時間、吸熱形ガス雰囲気で導入する吸熱形ガス流量に対してエンリッチガス0.3%~0.7%、アンモニアガス3~10%の条件で浸炭窒化を行い、そのままダイレクトに焼入を行う。

【0123】熱処理条件:D

温度930℃以上960℃以下で3~5時間、Cp値=0.9~1.2%の条件で通常浸炭処理を行い、処理温度を840℃以上900℃以下まで下げてから焼入を行う。

【0124】熱処理条件:E

温度930℃以上960℃以下で5~7時間でCp値=1.3%以上の高濃度浸炭処理を行い、処理温度を840℃以上900℃以下まで下げてから焼入を行う。

【0125】熱処理条件:F

温度830℃以上860℃以下で0.5~1時間保持した後、焼入を行う。

【0126】熱処理条件:G

温度930℃以上~960℃以下で0.5~1時間、炉内圧力が0.3~0.7Torrになるように、真空中

に適量のアセチレンを直接導入して分解ガス雰囲気による浸炭を行い、浸炭終了後に炉内を200Torr以上に復圧し、処理温度を840℃以上~900℃以下まで下げてから焼入れを行う。

【0127】熱処理条件:H

温度980℃以上~1050℃以下で0.5~1時間、真空炉中にアセチレンを炉内容積に対して0.1~0.5%直接導入し、炉内圧力が0.3~0.7Torrになる条件で分解ガス雰囲気による浸炭を行い、浸炭終了後に炉内を200Torr以上に復圧し、処理温度を840℃以上~900℃以下まで下げてから焼入れを行う。

【0128】本実施例では浸炭や浸炭窒化を短時間で行うように素材の炭素量を多く設定しているため、コストと長寿命が同時に得られる熱処理条件A、B、Cを用いる。ただし、熱処理条件Dの通常浸炭処理を行えば、当然長寿命が得られる。また、熱処理条件Fは通常の焼入処理であるが、硬さを得るために浸炭または浸炭窒化処理の後に2次焼入処理として使用される場合がある。一方、5Torr以下の高真空中で浸炭を行う場合、条件G、Hを用いた。

【0129】焼戻処理は全処理共通であり、160~200℃で2時間の焼戻しを行った。ただし、2次焼入処理を行う場合、浸炭または浸炭窒化処理の後に焼戻は行わない。

【0130】表3に完成品表面の黒鉛面積率が2~4%になるような黒鉛化処理を行い、その後、硬化熱処理した時の黒鉛化処理時間と素材の被削性を評価した結果を示す。

【0131】

【表3】

	No	鋼種	工具寿命 (min)	黒鉛化処理 時間 (Hr)	熱処理 条件	完成品表面の 黒鉛面積率(%)
実 施 例	9	K 1	239	5	A	3.2
	10	K 1	239	5	A+F	3.0
	11	K 2	235	10	A	3.2
	12	K 3	236	10	A	3.5
	13	K 4	234	10	A	3.9
	14	K 5	231	10	A	3.2
	15	K 6	235	10	A	3.7
	16	K 7	236	10	A	2.8
	17	K 8	231	5	A	2.3
	18	K 9	235	5	A	3.6
	19	K 1 0	236	10	A	3.1
	20	K 1 1	237	5	A	2.1
	21	K 1 2	234	10	A	3.5
	22	K 1 3	235	10	A	2.6
	23	K 1 4	234	15	A	2.3
	24	K 1 5	234	10	A	3.3
	25	K 1 6	234	10	A	3.0
	26	K 1 7	235	5	A	3.6
	27	K 1 8	236	10	A	2.7
	28	K 1 9	234	15	A	2.1
	29	K 2 0	234	10	A	3.4
	30	K 2 1	237	10	A	3.1
	31	K 2 2	232	10	A	3.0
	32	K 2 3	231	10	A	2.9
	33	K 2 4	231	30	A	2.8
	34	K 2 5	235	5	A	3.2
	35	K 2 6	236	5	A	2.1
	36	K 2 7	234	40	A	2.1
	37	K 2 8	232	50	A	2.3
	38	S U J 2	51	—	F	0

本実施例のほとんどは5～10時間の黒鉛化処理で十分に被削性が良好となる黒鉛を析出させることができる。ただし、No. 23, 28ではマンガンMnやクロムCrの添加量が多く15時間処理となってしまう。そのため、前述したように黒鉛化を短時間でを行うためにマンガンMnの含有量は1.0重量%以下、クロムCrの含有量は0.6重量%以下とすることが望ましい。

【0132】一方、比較例のNo. 33ではシリコンSiの添加量が少なく、No. 36, 37ではマンガンM

nやクロムCrの添加量が多過ぎるので、黒鉛化処理時間が長くなり、素材コストが上がるため被削性向上によるコストダウン効果が失われてしまう。また、黒鉛化処理を行わないSUJ2は被削性が悪い。

【0133】表4および図3に完成品表面の黒鉛面積率と表面硬さの関係を示す。

【0134】

【表4】

	No	鋼種	熱処理 条件	完成品表面 黒鉛面積率	表面硬さ (HV)
実 施 例	39	K 1	A	0	760
	40	K 1	A	0.66	752
	41	K 1	A	1.68	745
	42	K 1	A	2.77	730
	43	K 1	A	3.29	728
	44	K 1	A	4.31	715
比 較 例	45	K 1	A	5.55	605
	46	K 1	A	7.15	540
	47	K 1	A	8.98	509

黒鉛面積率が5%を越えると、図4に示すようにビッカ

ース圧痕に黒鉛粒が重なることで、急激に硬さが低下し

てしまう。K1以外の鋼種でも同様に5%を越えると急激に硬さが低下する。

【0135】[研削試験]

砥石: WA100

研削液: ソリュブルタイプ

砥石周速: 2800~3000m/min

上記条件で転がり軸受の内輪軌道面に相当するサンプルを砥石で研削し、砥石の形状くずれおよび目詰まりの状態を観察し、砥石のドレスを行うまでに研削したサンプル数(研削個数)を調査した。

【0136】[クリーン寿命試験]「特殊鋼便覧」第一版(電気製鋼研究所編、理工学社、1969年5月25日発行)第10~21頁記載のスラスト型軸受鋼寿命試験機を用いて各サンプルにフレーキングが発生した時点までの累積応力繰返し回数(寿命)を調査してワイブ

ルプロットを作成し、各ワイブル分布の結果から各々の寿命L10を求めた。

【0137】

試験面圧: 最大5200MPa

回転数: 3000C. P. M

潤滑油: #68タービン油

表5に浸炭および浸炭窒化処理を行い、場合によっては二次焼入を行った時の表面炭素C量%、窒素N量%と研削性およびクリーン寿命評価結果を示す。尚、素材でソーキングが必要なK23、K28、SUJ2および黒鉛化処理時間が長いK24、K27の5鋼種については寿命評価を行わない。

【0138】

【表5】

No	鋼種	熱処理 条件	C (wt%)	N (wt%)	研削性 (価数)	クリーン潤滑下寿命 $L_{10}$ (h) ( $\times 10^7$ )
79	K14	B	1.01	0.28	21	10.2
80	K15	B	0.97	0.14	28	10.3
81	K15	C	0.97	0.23	23	10.2
82	K16	B	1.05	0.17	27	10.5
83	K16	C	1.03	0.25	22	9.9
84	K17	B	1.02	0.12	28	10.0
85	K17	C	1.01	0.21	26	10.3
86	K18	B	1.05	0.20	24	10.5
87	K18	C	1.03	0.26	23	10.4
88	K19	B	1.10	0.28	21	10.2
89	K20	B	1.02	0.17	27	10.0
90	K20	C	1.01	0.22	26	10.4
91	K21	B	1.03	0.18	27	10.3
92	K21	C	1.03	0.23	25	10.1
93	K22	A	0.87	0.02	30	1.0
94	K22	B	0.85	0.11	28	1.1
95	K22	C	0.83	0.22	26	1.2
96	K25	A	1.01	0.02	30	2.3
97	K25	B	0.98	0.51	6	2.6
98	K25	C	0.94	0.68	5	1.3
99	K26	A	1.02	0.02	30	1.4
100	K26	B	1.01	0.21	20	2.1
101	K26	C	0.98	0.26	24	2.3
102	K1	E	1.51	0.02	30	1.8
103	K1	F	0.52	0.01	30	0.5
104	K9	C	0.99	0.43	8	10.6
105	K14	C	1.03	0.32	9	9.6
106	K19	C	1.12	0.31	10	10.2

No	鋼種	熱処理 条件	C (wt%)	N (wt%)	研削性 (価数)	クリーン潤滑下寿命 $L_{10}$ (h) ( $\times 10^7$ )
48	K1	A	0.98	0.02	30	9.8
49	K1	B	0.97	0.16	28	10.2
50	K1	C	0.94	0.25	26	10.5
51	K1	D	1.15	0.02	30	9.5
52	K1	A+F	1.01	0.02	30	11.3
53	K1	B+F	0.99	0.15	28	11.5
54	K1	C+F	0.97	0.23	26	12.3
55	K1	D+F	1.16	0.02	30	11.2
56	K2	B	1.02	0.18	26	9.6
57	K2	C	1.01	0.23	26	10.1
58	K3	B	1.05	0.25	23	10.2
59	K3	C	1.03	0.27	21	10.6
60	K4	B	1.13	0.20	26	10.3
61	K4	C	1.09	0.26	23	10.8
62	K5	B	1.05	0.21	25	9.8
63	K5	C	1.03	0.26	22	10.1
64	K6	B	1.04	0.23	23	10.2
65	K6	C	1.03	0.28	20	11.3
66	K7	B	1.03	0.15	26	10.5
67	K7	C	1.02	0.21	25	10.3
68	K8	B	1.03	0.21	24	10.2
69	K8	C	1.01	0.28	22	10.5
70	K9	B	1.02	0.29	21	10.2
71	K10	B	1.04	0.19	26	10.2
72	K10	C	1.02	0.25	22	10.3
73	K11	B	1.01	0.21	25	10.4
74	K11	C	0.98	0.27	22	9.8
75	K12	B	1.02	0.20	24	10.1
76	K12	C	1.02	0.26	22	10.2
77	K13	B	0.98	0.22	25	10.3
78	K13	C	0.97	0.27	22	10.0

本実施例のNo. 48～92では表面窒素量が0.3重量%以下になり、研削性が良好であり、クリーン潤滑下で長寿命を示した。ただし、本実施例の鋼種であっても、シリコンSiの添加量が多いK9およびマンガンMnやクロムCrの添加量が多いK14、K19を比較的低い温度で浸炭窒化を行う熱処理条件Cでは、表面の窒素量が0.3重量%を越えて研削性が低下してしまう比較例をNo. 104、105、106に示した。このため、前述したように浸炭窒化処理を行う場合、シリコンSi含有量は1.0重量%以下が望ましい。

【0139】一方、素材の炭素量が下限より少ないK2

2にコストを考慮した短時間熱処理A、B、Cを施すと、表面炭素量が0.9重量%以下となり寿命が低下してしまうNo. 93、94、95の比較例を示す。また、素材のシリコンSi量が上限を越えるK25に短時間熱処理A、B、Cを施しても拡散深さが低く寿命が低下してしまうNo. 96、97、98の比較例を示す。さらに、素材のマンガンMn量が下限より低いK26に短時間熱処理A、B、Cを施しても焼入性が不足して十分な硬さが得られず寿命が低下するNo. 99、100、101の比較例を示す。

【0140】また、本実施例の鋼種K1に高濃度浸炭熱

処理Eを施したN<sub>o</sub>. 102では初期の多量析出により寿命が低下し、通常の焼入を行う熱処理Fを施したN<sub>o</sub>. 103では黒鉛粒が素材に溶け込まず、素材の炭素量が不足し、十分な硬さが得られず寿命が低下する。

【0141】[異物混入潤滑下寿命] スラスト型軸受鋼寿命試験機を用いて、転動体にはS U J 2ボールを用い、各サンプルにフレーキングが発生した時点までの累積応力繰返し回数(寿命)を調査してワイブルプロットを作成し、各ワイブル分布の結果から各々の寿命L<sub>10</sub>を求めた。

【0142】

試験面圧: 最大4900MPa

回転数: 3000C. P. M.

潤滑油: #68タービン油

混入異物:

組成: ステンレス系粉

硬さ: HRC50

粒径: 65~120 $\mu$ m

混入量: 潤滑油中に300ppm

[ピーリング寿命] スラスト型軸受鋼寿命試験機を用いて転動体にはS U J 2ボールを用い、各サンプルにピーリングが発生し、さらにフレーキングに至った時点まで

の累積応力繰返し回数(寿命)を調査してワイブルプロットを作成し、各ワイブル分布の結果から各々の寿命L<sub>10</sub>を求めた。

【0143】

試験面圧: 最大4500MPa

回転数: 3000C. P. M.

潤滑油: #68タービン油

混入異物:

組成: ステンレス系粉

硬さ: HRC58

粒径: 30 $\mu$ m

混入量: 潤滑油中に1000ppm

つぎに、市場での実際の損傷を再現する表面損傷タイプの異物混入潤滑下寿命と市場の軸受表面に微細なはく離が発生するピーリング損傷を再現するピーリング寿命評価結果を表6および一部を図2と図5に示す。尚、浸炭および浸炭窒化処理で深さ不足や研削性が悪いK25については異物混入潤滑下およびピーリング寿命評価を行わない。

【0144】

【表6】



	鋼種	熱処理条件	完成品表面の黒鉛粒		異物混入 潤滑下寿命 $L_{10}(\times 10^4)$	ピーリング 寿命 $L_{10}(\times 10^4)$
			5 $\mu\text{m}$ 以上の 面積率(%)	2 $\mu\text{m}$ 以下の 面積率(%)		
実	139 K10	B	1.12	72.4	30.4	31.8
	140 K10	C	1.09	73.1	30.1	32.1
	141 K11	B	1.05	70.6	30.7	32.1
	142 K11	C	1.07	70.3	30.6	32.5
	143 K12	B	1.15	70.8	30.2	32.3
	144 K12	C	1.12	70.4	30.1	31.5
	145 K13	B	1.09	71.2	30.0	32.2
	146 K13	C	1.10	71.5	30.7	33.5
	147 K14	B	1.05	72.3	31.2	31.8
	148 K15	B	1.03	72	31.5	32.4
施	149 K15	C	1.15	74.5	31.1	32.9
	150 K16	B	1.16	74.0	30.5	32.5
	151 K16	C	1.21	72.3	30.6	30.9
	152 K17	B	1.22	71.5	30.4	31.4
	153 K17	C	1.23	71.4	30.5	33.0
	154 K18	B	1.25	70.5	30.4	31.5
	155 K18	C	1.04	70.9	30.1	32.5
	156 K19	B	1.03	70.1	30.0	32.7
	157 K20	B	1.01	74.0	29.8	31.9
	158 K20	C	1.02	0.3	31.5	31.5
例	159 K21	B	1.05	72.3	30.4	32.5
	160 K21	C	1.02	71.5	30.8	32.6
	161 K1	B	2.35	63.4	8.9	18.6
	162 K1	B	2.57	56.2	7.8	16.5
	163 K1	B	1.65	42.1	16.8	12.6
	164 K1	B	1.43	36.5	18.9	8.9
	165 K1	B	1.57	21.3	16.4	7.8
	166 K22	B	1.03	56.2	5.3	6.2
	167 K26	B	0.78	64.2	7.5	8.2
	168 K1	E	1.56	51.2	10.5	7.6
比	169 K1	F	1.53	52.6	2.3	1.8
	107 K1	B	0	71.5	30.2	32.5
	108 K1	B	0.32	71.3	30.6	33.6
	109 K1	B	0.87	72.3	29.7	32.4
	110 K1	B	1.05	72.6	28.3	34.5
	111 K1	B	1.34	71.5	27.9	31.5
	112 K1	B	1.68	70.9	26.5	32.1
	113 K1	B	1.05	95.0	30.2	35.6
	114 K1	B	1.35	83.4	30.6	34.2
	115 K1	B	1.02	72.1	30.4	33.7
例	116 K1	B	1.04	64.3	30.5	30.1
	117 K1	B	1.06	53.7	30.1	28.6
	118 K1	A	1.02	71.3	28.9	31.5
	119 K1	C	1.03	72.3	30.5	33.5
	120 K1	D	1.06	72.6	29.1	30.7
	121 K1	B+F	1.04	58.3	31.6	32.8
	122 K1	A+F	1.01	72.6	30.8	31.6
	123 K1	C+F	1.01	72.9	31.8	34.6
	124 K2	B	1.10	76.0	30.5	32.5
	125 K2	C	1.04	72.1	30.7	32.6
例	126 K3	B	1.02	72.6	30.2	34.5
	127 K3	B	1.06	73.2	30.6	32.5
	128 K4	C	1.05	74.6	30.7	34.6
	129 K4	B	1.03	70.6	30.8	31.5
	130 K5	C	1.04	74.3	30.6	32.6
	131 K5	B	1.02	71.5	30.6	31.8
	132 K6	C	1.05	72.8	30.5	32.4
	133 K6	B	1.03	71.9	30.1	31.9
	134 K7	C	1.00	73.4	30.4	32.4
	135 K7	C	1.05	75.1	30.5	31.4
例	136 K8	B	1.16	74.0	30.2	32.5
	137 K8	C	1.14	71.5	30.7	31.4
	138 K9	B	1.13	72.9	29.8	32.6

本実施例では黒鉛粒をコントロールし、微細化することで異物混入潤滑下およびピーリング寿命が良好である。ただし、本実施例の鋼種であっても、平均粒径5 $\mu\text{m}$ 以上の大形黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で2%を超えると異物混入潤滑下寿命が低下するNo. 161, 162や平均粒径2 $\mu\text{m}$ 以下の微細黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で50%より低いと、ピーリング寿命が低下するNo. 163, 164, 165を示した。

【0145】一方、素材の炭素量が下限より少ないK22をコストを考慮した短時間熱処理Bを施すと、表面炭素Cの含有量が0.9重量%以下となり各種寿命が低下

してしまうNo. 166の比較例を示す。また、素材のマンガンMn量が下限より低いK26に短時間熱処理Bを施しても焼入性が不足して十分な硬さが得られず各種寿命が低下するNo. 167の比較例を示す。

【0146】また、本実施例の鋼種K1に高濃度浸炭熱処理Eを施したNo. 168では、初期の多量析出により各種寿命が低下する。通常の焼入を行う熱処理Fを施したNo. 169では黒鉛粒が素材に溶け込まず、素材の炭素量が不足して十分な硬さが得られず各種寿命が低下する。

【0147】つぎに、素材の黒鉛量を高くして冷間加工

性を向上させ、熱処理で黒鉛粒を微細化する実施例を示す。黒鉛を効率良く微細化するには、高温で浸炭する方法が有効であるが、通常ガス浸炭では効率が悪い。

【0148】[浸炭深さ比調査] 通常ガス浸炭を比較例とし、アセチレン浸炭を実施例とする浸炭深さ比を調査する際、次の条件でそれぞれ浸炭処理を行った。

【0149】通常ガス浸炭：吸熱型ガス雰囲気導入する吸熱型ガス流量に対しエンリッチガス0.3%~0.7%、Cp値=0.9~1.2%の条件で3時間浸炭を行い、処理温度を840℃以上~900℃以下まで下げてから焼入れを行う。

【0150】アセチレン浸炭：真空炉中にアセチレンを炉内容積に対して0.1~0.5%直接導入し、炉内圧力=0.3~0.7Torrの条件で3時間浸炭を行い、浸炭終了後に炉内を200Torr以上に復圧し、処理温度を840℃以上~900℃以下まで下げてから焼入れを行う。

【0151】浸炭深さ比は、断面の炭素C濃度%の勾配を測定し、素材の炭素量になるまでの深さを浸炭深さとし、アセチレン浸炭深さを通常ガス浸炭深さで割った値である。なお、炭素C濃度%の勾配の測定はEPMA（電子プローブマイクロアナライザ、島津製作所製EPMA-1600）を用いて行われた。その結果を図6に示す。浸炭温度が高くなる程、浸炭深さ比が大きくなり、1050℃以上では、アセチレン浸炭深さは通常ガス浸炭深さの1.5倍以上となる。

【0152】しかし、アセチレンはメタンやプロパン等の飽和炭化水素ガスに比べて不安定であり、分解速度も早いので、200~400Torr程度の真空度で行う一般的な真空浸炭条件では、大量の煤が発生してしまうので、真空度を上げ、5Torr以下で処理しなければならない。

【0153】[真空度と浸炭深さ調査] 真空度と浸炭深さとの関係を調査する際、次の条件でアセチレン浸炭を行った。

【0154】アセチレン浸炭：真空炉中にアセチレン炉内容積に対して0.1~0.5%直接導入し、浸炭処理温度=980~1050℃の条件で0.5~1時間浸炭を行い、浸炭終了後に炉内を200Torr以上に復圧し、浸炭温度を840℃以上~900℃以下まで下げてから焼入れを行う。

【0155】図7にアセチレン浸炭における真空度と浸炭深さ比（浸炭性能）との関係を示す。0.5Torrでの浸炭深さを値1とした場合の浸炭深さ比を示したが、真空度が5Torrを超えて低くなると、煤の発生が激しく、ほとんど浸炭されず、場合によっては浸炭むらが発生する。一方、真空度を5Torr以下にすると、煤の発生が減少して良好な処理が可能となる。さらに、1Torr以下の高真空である方が浸炭が安定する傾向にあり、1Torr以下での真空浸炭が望ましい。

浸炭深さ比は前述と同様に測定された。

【0156】[熱処理による黒鉛粒微細化および黒鉛面積率削減] 熱処理による黒鉛粒微細化および黒鉛面積率削減を調査する際、次の条件でアセチレン浸炭を行った。

【0157】アセチレン浸炭：真空炉中にアセチレン炉内容積に対して0.1~0.5%直接導入し、炉内圧力=0.3~0.7Torrの条件で0.5~1時間浸炭を行い、浸炭終了後に炉内を200Torr以上に復圧し、浸炭温度を840℃以上~900℃以下まで下げてから焼入れを行う。

【0158】図8にアセチレン浸炭で処理温度を変えた場合の全黒鉛面積率に対する2μm以下の黒鉛面積率を示す。通常浸炭温度である950℃を越えると、黒鉛の微細化が効果的に促進されている。したがって、浸炭温度は950℃を越えることが望ましい。

【0159】図9にアセチレン浸炭で処理温度を変えた場合の浸炭温度と黒鉛残留率との関係を示す。通常浸炭温度である950℃を越えると、黒鉛残留率は50%以下となり、素材の黒鉛は微細化されると共に半分以下の面積になる。

【0160】[素材の黒鉛面積率と冷間加工性] 素材の黒鉛面積率と冷間加工性の調査では、オートマチックトランスミッション内で使用されているビンタイプの軸受（ころ軸受）の内輪に相当するビンの潤滑用の穴加工で評価が行われた。図12は冷間加工性の評価（5段加工前の状態）を行った試験片であるビンの加工穴を示す断面図である。ビン10は直径φ10mm、長さ30mmのサイズを有している。そして、下記に示す5段の冷間加工で4段目まで作られたビンの断面図を示している。その中心には直径φ3mmの加工穴10a、10bがあり、長さ5mmの未貫通部10cがある。

【0161】

加工機：坂村機械製作所製、NF-550

段数：5段加工（穴開け3段加工）

加工速度：100~150個/分

加工能力：260ton

潤滑剤：杉村科学製、M-1900

金型材質：V20（JIS B 4053）

冷間加工性の評価は加工機を連続で運転し、5段目で未貫通部10cを貫通させる工程での金型が破損するまでの加工数で行われた。その結果を図10に示す。金型は穴開けように突き出たパンチが被加工材10bに食い込み、抜く時にかかる引張り力で破損する場合が多く、黒鉛を析出させると、硬さの低下と黒鉛の潤滑作用により冷間加工性が良好となる。図10に示すように、素材の黒鉛面積率が5%以上になると、その効果が高くなり、10%以上で最良の加工性を示した。

【0162】[ピーリング損傷や滑り摩耗での寿命評価] ピーリング損傷や滑り摩耗での寿命評価では、オー

トマチックトランスミッション内で使用されているピンタイプの軸受（ころ軸受）の内輪に相当するピンに対し、実際の使用条件を想定した潤滑条件の厳しい試験を行った。図13は試験片であるピンのピーリング損傷や滑り摩耗での寿命評価試験を行う様子を示す図である。同図（A）に示すように、ころ軸受8は針状ころ9が周囲に配設された内輪としての試験片であるピン10を有し、駆動輪11に対して試験荷重が外輪12に加えられた状態で接触している。駆動輪11が回転すると、それに伴って外輪12は摺動回転を行う。

【0163】また、同図（B）に示すようにピン10の中心軸方向およびそれと直交する方向には油路10a、10cが形成されており、潤滑油は油路10aの両端か

ら流入して油路10cへと流出する。このような寿命評価試験での試験条件はつぎの通りである。

【0164】

試験荷重：6000N

回転速度：8000rpm

潤滑条件：潤滑油、トヨタ自動車製、キャスルオートフルードD-II、強制潤滑供給方法（100ml/分）

試験結果を表7および図14に示す。図14は完成品の黒鉛面積率に対するピン回転L10寿命との関係を示す特性図である。

【0165】

【表7】

	NO	鋼種	素材の 黒鉛 面積率 (%)	冷間鍛造 工具寿命 $\times 10^3$ 個	熱処 理 条件	完成品表面の		ピン回転 寿命 L10 (時間)
						黒鉛 面積率 (%)	2 $\mu$ m以下の 黒鉛面積率 (%)	
実	170	K1	5.9	18.6	H	1.5	91.2	23.6
	171	K1	7.6	21.3	H	2.1	85.6	29.1
	172	K1	9.8	22.2	H	2.5	83.2	32.4
	173	K1	10.5	24.2	H	2.7	81.4	33.2
	174	K1	12.3	25.1	H	3.1	78.6	31.5
	175	K1	5.9	18.6	G	3.0	71.3	30.2
	176	K1	7.6	21.3	G	3.8	67.8	28.5
	177	K1	9.8	22.2	G	4.9	65.4	26.3
	178	K1	7.6	21.3	H+P	2.0	86.1	29.4
	179	K1	10.5	24.2	H+P	2.6	83.7	31.5
	180	K1	7.5	21.3	G+P	3.6	68.4	28.6
	181	K1	10.5	24.2	G+P	5.0	61.3	23.9
	182	K2	7.3	20.9	H	1.9	86.3	28.7
	183	K3	7.5	20.1	H	1.8	87.2	28.9
	184	K4	7.6	20.4	H	1.9	86.5	28.6
	185	K5	7.4	20.2	H	1.9	86.3	28.7
	186	K6	7.5	20.3	H	1.9	86.4	28.6
	187	K7	7.3	20.1	H	2.0	85.9	28.9
施	188	K8	7.4	20.4	H	1.9	86.4	28.7
	189	K9	7.6	18.9	H	2.2	84.5	29.8
	190	K1	7.3	20.1	H	2.0	86.0	28.7
	191	K1	7.8	20.2	H	1.9	86.3	28.6
	192	K1	7.5	20.4	H	1.9	86.4	28.5
	193	K1	7.3	20.2	H	1.8	78.1	28.7
	194	K1	7.4	19.4	H	1.9	86.4	28.6
	195	K1	7.6	20.5	H	1.9	86.5	28.4
	196	K1	7.5	20.2	H	2.0	86.1	28.9
	197	K1	7.3	20.3	H	1.9	86.4	28.6
	198	K1	7.4	20.4	H	1.9	86.5	28.5
	199	K1	7.6	19.7	H	1.8	87.3	28.4
例	200	K2	7.8	20.4	H	1.9	86.3	28.6
	201	K2	7.7	20.3	H	2.0	86.0	28.9
	202	K1	0	2.2	H	0	0	7.3
	203	K1	0.6	6.3	H	0.1	95.3	13.2
	204	K1	2.7	7.8	H	0.7	94.8	14.8
	205	K1	3.8	9.2	H	1.0	93.6	18.5
	206	K1	4.5	10.1	H	1.2	92.5	19.4
	207	K1	10.5	24.2	G	5.3	54.3	12.4
	208	K1	12.3	25.1	G	6.2	50.1	10.1

本実施例では、素材の黒鉛を多めに析出させることで冷間鍛造（加工）性良好とし、高真空中浸炭を行うことで効果的に黒鉛粒を微細化することによりピーリング損傷や滑り摩耗で長寿命が得られる。

【0166】一方、素材の黒鉛面積率が5%未満である

比較例としてのNO. 202、203、204、205、206は冷間鍛造性が低下してしまい、また、比較例としてのNO. 207、208は素材の黒鉛面積率を10%以上とし、冷間鍛造性が良好でも、熱処理条件によっては完成品の黒鉛面積率が10%を越えると、硬さ

の低下や黒鉛粒の粗大化によりピーリング損傷や滑り摩耗での寿命が低下してしまう。

【0167】さらに、図14に示すように、完成品の黒鉛面積率が5%以下でピーリング損傷や滑り摩耗が長寿命となるが、4%以下で寿命が安定する。一方、完成品の黒鉛面積率が1%未満になると、寿命が低下する傾向を示した。これは、微細な残留黒鉛粒が潤滑条件の厳しい中で油溜まりとなって潤滑を助ける効果が得られなくなるからである。したがって、オートマチックトランスミッション内で使用されている等の潤滑条件の厳しい場合、完成品の黒鉛面積率が2%以上4%以下であることが望ましい。

【0168】このように本実施例では、素材を黒鉛化することで被削性を著しく向上させると共に、並径サイズの軸受が実際に使用されている状況やオートマチックトランスミッション内で実際に使用されている軸受を再現して評価し、軸受完成品表面の黒鉛粒をコントロールすることにより、クリーン潤滑や異物混入潤滑下やピーリング発生に対して長寿命である軸受を安価に提供することができる。

【0169】次に、トロイダル形無段変速機に適用される転動部材について説明する。図15はトロイダル形無段変速機の構造を示す断面図である。トロイダル形無段変速機は、ハウジング内に入力ディスク31と出力ディスク32とが同軸上に対向して配置された構造を有する。入力ディスク31および出力ディスク32を備えたトロイダル変速部の軸心部分には、入力軸33が貫通されている。

【0170】この入力軸33の一端にはローディングカム14が設けられており、このローディングカム14はカムローラ15を介して入力ディスク31に入力軸33の動力(回転力)を伝達する構造となっている。

【0171】入力ディスク31および出力ディスク32は略同一形状で対称に配置されており、それらの対向面は協働して軸方向断面で略半円形となるようにトロイダル面に形成されている。

【0172】そして、入力ディスク31および出力ディスク32のトロイダル面で形成されるトロイダルキャビティ内に、入力ディスク31および出力ディスク32に接して一対の運動伝達用のパワーローラ軸受16、17が配設されている。パワーローラ軸受16、17はスラスト軸受23を有する。

【0173】また、パワーローラ軸受16、17は、枢軸18、19を介してトラニオン20、21に回転自在に枢着され、かつ入力ディスク31および出力ディスク32のトロイダル面の中心となるピボット軸Oを中心として傾転自在に支持されている。

【0174】入力ディスク31および出力ディスク32と、パワーローラ軸受16、17との接触面には粘性摩擦抵抗の大きい潤滑油が供給され、入力ディスク31に

入力される動力を潤滑油膜およびパワーローラ軸受16、17を介して出力ディスク32に伝達する構造となっている。

【0175】入力ディスク31および出力ディスク32は、ニードル25を介して入力軸33と独立した状態(入力軸33の回転動力に直接影響されない状態)となっている。出力ディスク32には入力軸33と平行に配設され、かつアンギュラ軸受22を介してハウジングに回転自在に支持された出力軸24が設けられている。

【0176】このトロイダル形無段変速機では、入力軸33の動力がローディングカム14に伝達される。この動力の伝達により、ローディングカム14が回転すると、この動力がカムローラ15を介して入力ディスク31に伝達され、入力ディスク31が回転する。入力ディスク31の回転により発生した動力は、パワーローラ軸受16、17を介して出力ディスク32に伝達される。出力ディスク32は出力軸24と一体となって回転する。

【0177】変速時、2つのトラニオン20、21をピボット軸Oを中心に軸方向に微小距離移動させる。すなわち、このトラニオン20、21の軸方向移動により、パワーローラ軸受16、17の回転軸と、入力ディスク31および出力ディスク32の軸との交差が外れる。このため、パワーローラ軸受16、17が、入力ディスク31および出力ディスク32の曲面上を傾転し、その結果、速度比が変わり、減速または増速が行われる。

【0178】〔実施例〕疲労寿命試験は、図15に示すトロイダル形無段変速機30のパワーローラ軸受16、17の内輪16a、17aおよび外輪16b、17b、入力ディスク31および出力ディスク32と同様の構造のもので行われた。

【0179】図16は試験片を製作する際の種々の熱処理条件を示す図である。表8に示すそれぞれの材料を用い、図16に示す各熱処理を行った後、一部の試験片にはショットピーニングを行い、表9および表10に示すような17種類の試験片を製作する。

【0180】また、入力ディスクおよび出力ディスクのトラクション面となる部分については研削仕上げを行う(研磨後、超仕上げ)。

【0181】

【表8】

【0182】

【表9】

材料	C	Si	Mn	Cr	Mo	O	S	P
A (SUJ2)	1.00	0.25	0.40	1.51	-	0.0008	0.008	0.016
B (SCM420)	0.20	0.20	0.70	1.05	0.20	0.0009	0.009	0.013
C	0.15	1.50	0.90	0.90	-	0.0010	0.015	0.016
D	0.35	0.30	0.85	1.16	0.15	0.0008	0.013	0.012
E	0.42	0.40	1.30	1.20	-	0.0008	0.004	0.013
F	0.53	0.20	0.84	0.20	0.18	0.0009	0.017	0.026
G	0.65	1.00	1.00	0.80	-	0.0010	0.012	0.012
H	0.70	0.50	0.70	1.00	-	0.0012	0.019	0.018

	材料	熱処理	粒界酸化層	疲労割れ寿命	残留応力 ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ )
実施例1	B	I	なし	100Hr以上	-40
実施例2	C	I	なし	100Hr以上	-42
実施例3	D	I	なし	100Hr以上	-35
実施例4	E	I	なし	100Hr以上	-32
実施例5	F	I	なし	100Hr以上	-25
実施例6	G	I	なし	100Hr以上	-20
実施例7	H	I	なし	66Hr	-16
比較例1	B	II	20 $\mu\text{m}$	46Hr	-37
比較例2	C	III	45 $\mu\text{m}$	40Hr	-38
比較例3	D	II	25 $\mu\text{m}$	38Hr	-34
比較例4	E	II	35 $\mu\text{m}$	32Hr	-31
比較例5	F	III	25 $\mu\text{m}$	35Hr	-22
比較例6	G	III	40 $\mu\text{m}$	30Hr	-20
従来例1	A	IV	10 $\mu\text{m}$	12Hr	+8

【0183】

【表10】

	材料	熱処理	ショットピーニング	疲労割れ寿命	処理コスト
比較例7	B	II	あり	100Hr以上	×
比較例8	D	II	あり	100Hr以上	×
比較例9	E	II	あり	100Hr以上	×
実施例1	B	I	なし	100Hr以上	○
実施例3	D	I	なし	100Hr以上	○
実施例4	E	I	なし	100Hr以上	○

(熱処理条件I) 熱処理条件Iでは、温度が930～960℃の真空雰囲気下の炉内に試験片を入れ、均熱後アセチレンを0.5 Torrまで導入して圧力制御を行いながら浸炭を行い、引き続き真空中で拡散処理を行い、合わせて20～30時間の処理を行った(浸炭処理)後、放冷(または焼入れ)を行い、次に温度が840～860℃の真空中で0.5～1時間熱処理した後、オイルクエンチを行い、次に温度が160～180℃の大気中で2時間加熱した後、冷却する(焼戻し)。

【0184】(熱処理条件II) 熱処理条件IIでは、温度が930～960℃のRXガス、エンリッチガス、アンモニア(NH<sub>3</sub>)ガス雰囲気中で20～30時間熱処理(浸炭窒化処理)した後、放冷を行い、次に温度が840～860℃のRXガス雰囲気中で0.5～1時間熱処理した後、オイルクエンチを行い、次に温度が160～180℃の大気中で2時間加熱した後、冷却する(焼戻し)。

【0185】(熱処理条件III) 熱処理条件IIIでは、温度が930～960℃のRXガスおよびエンリッチガス雰囲気中で20～30時間熱処理(浸炭処理)した後、放冷を行い、次に温度が840～860℃のRXガス雰囲気中で0.5～1時間熱処理した後、オイルクエンチを行い、次に温度が160～180℃の大気中で2時間加熱した後、冷却する(焼戻し)。

【0186】(熱処理条件IV) 熱処理条件IVでは、温度が840～860℃のRXガス雰囲気中で0.5～1時間熱処理した後、オイルクエンチを行い、次に温度が160～180℃の大気中で2時間加熱した後、冷却する(焼戻し)。

【0187】次に、表9に示したそれぞれの試験片のうち、14種類(実施例1～7、比較例1～6、従来例1)について残留応力(Kgf/mm<sup>2</sup>)を測定した。この結果を表9に合わせて示した。ここで、残留応力の値でマイナス(－)は圧縮を示し、プラス(＋)は引張りを示す。さらに、表9に示す14種類の試験片について熱処理後の黒皮状態でマイクロ組織観察を行い、最表面付近の粒界酸化層を観察し、その深さを求めた。

【0188】また、表8に示す3種類の材料(B、D、E)を用い、熱処理後にショットピーニング処理を追加実施した3種類の試験片(比較例7、8、9)を製作したものを、前述の表10に示した。

【0189】上記試験片(実施例1～7、比較例1～9、従来例1)を用い、寿命評価を下記条件で行った。

【0190】[調査条件]

入力軸の回転数 4000rpm

入力トルク 392N・m

使用オイル 合成潤滑油

オイル温度 100℃

寿命の評価は、それぞれの試験片で構成されるパワーロー軸受の外輪、入力ディスクおよび出力ディスクのいずれかに剥離が発生するまでの時間、あるいはパワーロー軸受の外輪、入力ディスクおよび出力ディスクのいずれかに疲労割れが発生するまでの時間をもって決定された。

【0191】また、試験中、上記転動部材に剥離等が発生した場合、転動部材を新規なものと入れ替えて試験を続行した。また、試験は100時間で打ち切りとした。これらの結果を表9に合わせて示した。

【0192】表9より熱処理に真空浸炭処理を行った材料B、C、D、E、F、Gのいずれにおいても熱処理後の黒皮状態では粒界酸化層は認められず、疲労割れ寿命が100Hrを越えても剥離、破損は生じなかった(実施例1～6)。

【0193】しかしながら、上記と同じ材料を用いた熱処理において、ガス浸炭およびガス浸炭窒化を行ったものでは、熱処理後の黒皮状態で粒界酸化層が認められ、疲労割れ寿命は短くなっていることが分かる(比較例1～6)。

【0194】これらはいずれの場合も、図15に示すディスクの「A」部分または「イ」部分から破損しており、起点は粒界酸化層からであった。

【0195】また、材料Hを用いて真空浸炭を行ったもの(実施例7)では、熱処理後の黒皮状態で粒界酸化層が認められず、疲労割れ寿命は上記ガス浸炭またはガス浸炭窒化を行った比較例よりは長かったものの、「A」部分および「イ」部分からディスクが破損した。

【0196】これは、実施例1～6(材料B～G)ではその炭素量(0.15～0.65重量%)と、浸炭された表面層部の炭素量(0.8～1.2重量%)との差により表面に20Kgf/mm<sup>2</sup>以上の圧縮残留応力が生じていたが、材料H(炭素量0.7重量%)を用いた実施例7の場合、圧縮残留応力が20Kgf/mm<sup>2</sup>未満

であったことにより、疲労割れ寿命が短くなった。

【0197】また、SUJ2を材料に用いた従来例1では、熱処理雰囲気はRXガスを使用しており、ガス浸炭やガス浸炭窒化に比べて熱処理時間は短いため、深さは短くなるものの、粒界酸化層が生じてしまい、さらにはずぶ焼き鋼のため、表面には圧縮残留応力が生じないことから疲労割れ寿命は非常に短い結果となることが分かる。寿命は「A」部からディスクが破損したのに加え、パワーローラ軸受の外輪も接触面に剥離を起こした。

【0198】表10には、表8の3種類の材料B、D、Eを用い、ガス浸炭窒化を行った試験片について熱処理後に入力ディスク、出力ディスクおよびパワーローラ軸受の内輪、外輪にショットピーニング処理を行った比較例7～9の寿命試験結果が、同材料を用いて真空浸炭処理を行った上記実施例1～3と共に示されている。

【0199】ガス浸炭窒化を行った試験片（比較例7～9）においても、ショットピーニング処理を行うことで疲労割れ寿命は100時間（Hr）以上と長くなることが分かる。しかしながら、真空浸炭処理を行った実施例と比較すると、ショットピーニングを行うことでコストアップとなってしまう。

【0200】このように、トロイダル形無段変速機の入力ディスク、出力ディスクおよびパワーローラ軸受の内輪、外輪にアセチレン真空浸炭を行うことで、表面の粒界酸化を防止でき、繰り返し曲げ応力がかかることによる疲労割れが生じやすいということで問題となっていた上記部品の割れ強度を安価に向上させることができる。また、ショットピーニングを行う必要がなくなる。

【0201】尚、トロイダル形無段変速機では、アセチレン真空浸炭法を用いた場合を示したが、アセチレンを用いずに粒界酸化の少ない真空浸炭法および真空焼入れでも同様にトロイダル形無段変速機の入出力ディスク、パワーローラ軸受の長寿命、コスト低減に効果がある。

【0202】また、アセチレン真空浸炭後、窒化ガスを供給し、炭素の拡散に続いて窒化を行うアセチレン浸炭窒化法で行っても、粒界酸化を防止し、上記と同様の効果がある。

【0203】

【発明の効果】本発明の請求項1に記載の転がり軸受によれば、内輪、外輪および転動体の少なくとも1つに浸炭または浸炭窒化処理を行った素材が適用される転がり軸受において、前記素材は、炭素0.45～0.9重量%、シリコン0.5～1.5重量%、マンガン0.3～1.5重量%およびクロム0.7重量%以下を含有し、残りが鉄および不純物元素からなる合金であり、前記素材に対して黒鉛化処理を行って微細黒鉛を析出させておき、完成品表面における黒鉛の面積率を5%以下とし、平均粒径5 $\mu$ m以上の大形黒鉛粒が全黒鉛に対して面積

率で2%以下であり、かつ平均粒径2 $\mu$ m以下の微細黒鉛粒が全黒鉛に対して面積率で50%以上であり、完成品表面層における炭素量および窒素量がそれぞれ0.9～1.4重量%および0.01～0.3重量%であるので、素材を黒鉛化することで被削性を著しく向上させると共に、高真空中で短時間の浸炭を行うことで低コストでありながら、クリーン潤滑や異物混入潤滑下で、さらにはピーリング損傷や滑り摩耗に対して長寿命である転がり軸受を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】素材の黒鉛面積率と切削工具寿命との関係を示す特性図である。

【図2】全黒鉛に対する5 $\mu$ m以上の黒鉛の面積率と寿命との関係を示す特性図である。

【図3】完成品表面の黒鉛の面積率と硬さとの関係を示す特性図である。

【図4】黒鉛粒の上にビッカース圧痕が重なった様子を示す図である。

【図5】微小異物混入潤滑下での寿命と平均粒径2 $\mu$ m以下の黒鉛粒の面積率との関係を示す特性図である。

【図6】同一条件での通常ガス浸炭と真空浸炭との浸炭深さ比を浸炭温度に対して示す特性図である。

【図7】アセチレン浸炭における真空度と浸炭深さ比との関係を示す特性図である。

【図8】浸炭温度と2 $\mu$ m以下の黒鉛面積率との関係を示す特性図である。

【図9】浸炭温度と黒鉛残留率との関係を示す図である。

【図10】素材の黒鉛面積率に対する冷間加工性を示す特性図である。

【図11】黒鉛化処理条件を示す図である。

【図12】冷間加工性の評価（5段加工前の状態）を行った試験片であるピンの加工穴を示す断面図である。

【図13】試験片であるピンのピーリング損傷や滑り摩耗での寿命評価試験を行う様子を示す図である。

【図14】完成品の黒鉛面積率に対するピン回転10寿命との関係を示す特性図である。

【図15】トロイダル形無段変速機の構造を示す断面図である。

【図16】試験片を製作する際の種々の熱処理条件を示す図である。

【符号の説明】

8 ころ軸受

10 ピン

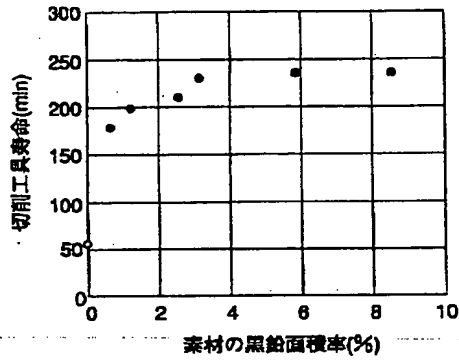
16、17 パワーローラ軸受

31 入力ディスク

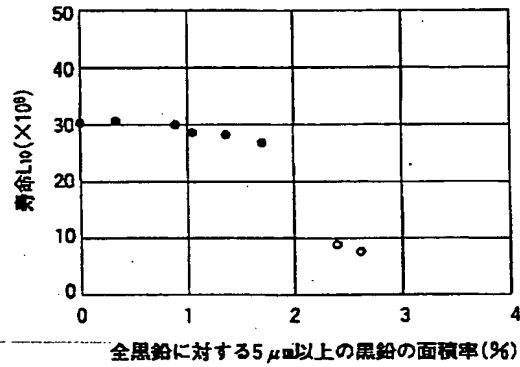
32 出力ディスク

33 入力軸

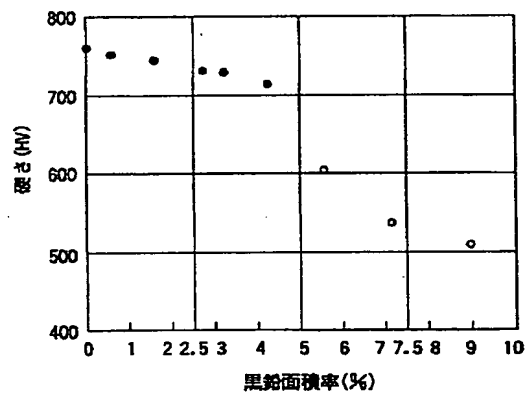
【図1】



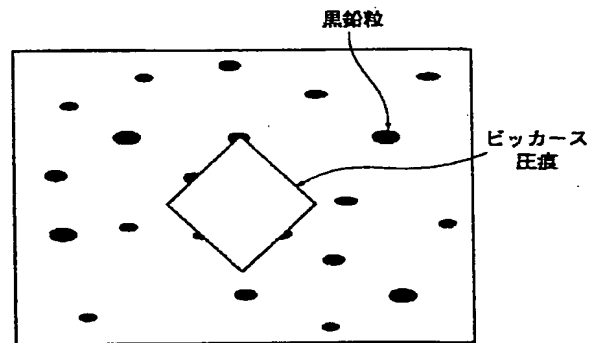
【図2】



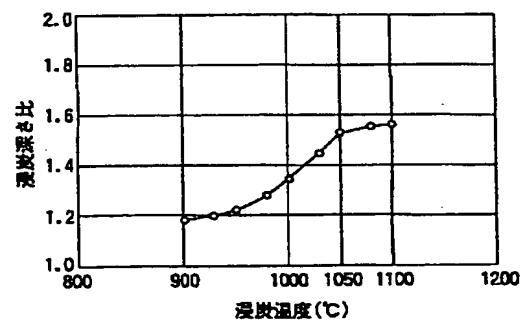
【図3】



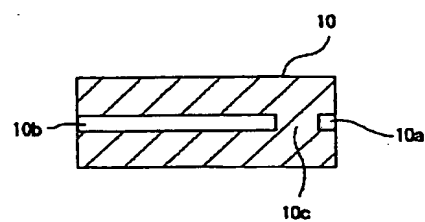
【図4】



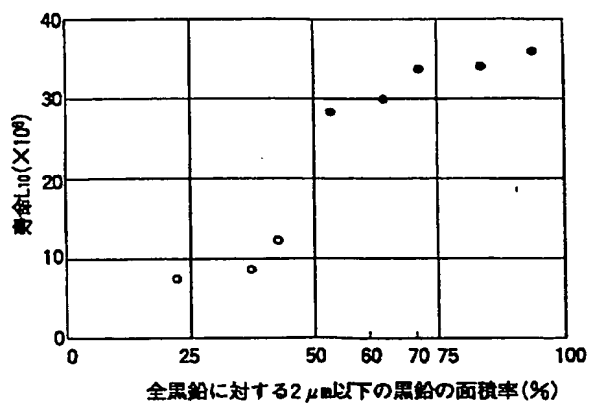
【図6】



【図12】

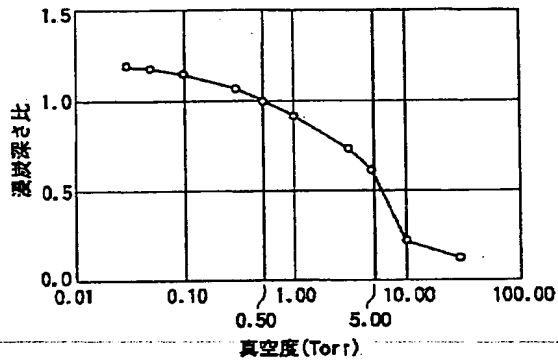


【図5】

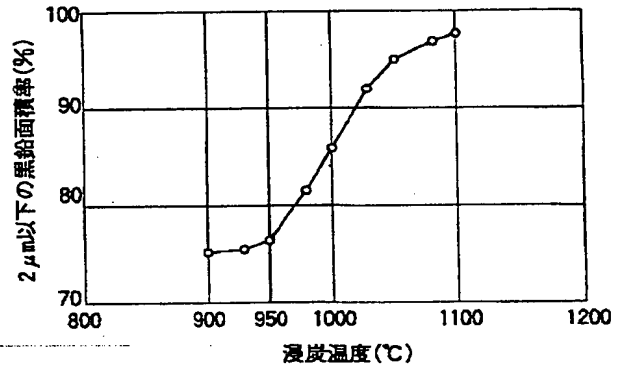




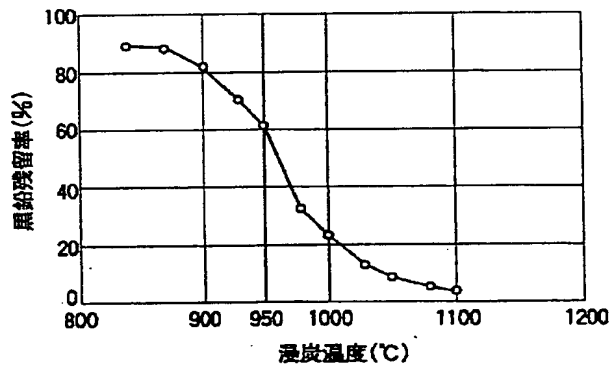
【図7】



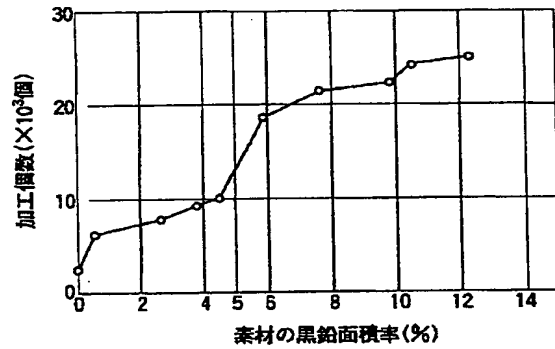
【図8】



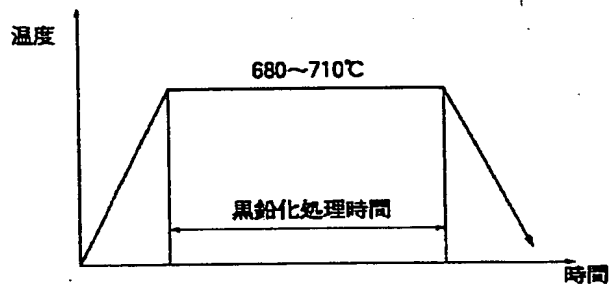
【図9】



【図10】



【図11】



【図14】

